بررسی گستره‌ی کارگزاری المان‌های شش‌پایه به‌منظور کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل

سارا محمدپور[1] و محمود شفاعی بجستان[2*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. m_shafai@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۱۱

چکیده

آبشستگی یک پدیده طبیعی است که ناشی از عمل فرسایشی میدان جریان در آبراهه‌های آبرفتی می‌باشد.شکست پل ناشی از آبشستگی کلی در پایه و تکیه‌گاه پل ، ضرورت مطالعه در مورد پیش‌بینی آبشستگی و راه‌های محافظت در برابر آن را کاملاً روشن می‌سازد.یکی از راه‌های کاهش آبشستگی استفاده از المان‌های شش‌پایه (A-JACKS) اطراف تکیه‌گاه می‌باشد. در این پژوهش به بررسی تأثیر سازه موسوم به المان‌های شش‌پایه بر کنترل حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل و همچنین بررسی گستره‌ی کارگزاری المان‌های شش‌پایه به‌منظور حفاظت تکیه‌گاه پل در مقابل آبشستگی پرداخته‌شده است. آزمایشات برای اعداد فرود ۰/۱۸ ، ۰/۲۰۸ ، ۰/۲۳۵ و ۰/۲۵ و در چهار گستره‌ی کارگزاری (W) ٤، ٦/٥، ٨/٥ و ١٠/٦ سانتی‌متری انجام شد. در اعداد فرود ۰/۱۸ و ۰/۲۰۸ گستره‌ی دو ردیفه(W2) ، سه ردیفه(W3) و چهار ردیفه (W4)، صددرصد آبشستگی را کاهش دادند. در عدد فرود ۰/۲۳۵ گستره‌ی سه ردیفه(W3) و گستره‌ی چهار ردیفه (W4) صددرصد آبشستگی را کاهش داده و در عدد فرود ۰/۲۵گستره‌ی چهار ردیفه (W4) ۸۹/۵۵ درصد آبشستگی را کنترل می‌کند. در مقایسه عملکرد دو گستره حداکثر المان‌های شش‌پایه یعنی W3 و W4 در عدد فرود حداکثر مشاهده شد که تنها ۷/٤۷ درصد در میزان کاهش آبشستگی اختلاف دارند و در دو عدد فرود ۰/۱۸ و ۰/۲۰۸ عملکردی کاملاً مشابه یکدیگر دارند. درنتیجه می‌توان گفت که استفاده از گستره‌ی W3 بهینه‌ترین حالت کارگزاری المان‌ها حول تکیه‌گاه است زیرا عملکردی نزدیک به W4 دارد ولی هزینه و زمان ساخت آن کمتر است.

کلیدواژه ها : آبشستگی، المان‌های شش‌پایه، گستره کارگزاری، تکیه‌گاه پل، آب زلال.

Investigation of The Area of Around Bridge Abutment by A-Jacks to Protect Against Scour

S. Mohammadpour[1] and M. Shafai Bejestan [2*]

1- M.Sc Student of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received:31 May 2015 Accepted:2 November 2015

Abstract

Scouring is a natural phenomenon that arises from the erosive action of flow field in the alluvial streams. Bridge failure caused by fully scouring of the piers and abutment makes completely clear the necessity of investigating in the case of scour prediction and ways to protect against it. One of the ways to reduce scour is utilizing the six-based elements (A-JACKS) around the abutment. In this study, the impact of the structure known as six-based elements on the control of the maximum scour depth of the bridge abutment was investigated as well as the scope of locating the six-based elements in order to safeguard the bridge abutment in front of the scour has been studied. The tests were performed with Froude numbers of 0.18, 0.208, 0.235, and 0.25 and in 4 placement scopes (W) of 4, 6.5, 8.5 and 10.6 cm .The scour was decreased one hundred percent in the Froude numbers of 0.18 and 0.208, and scopes of two-row (W2), three-row (W3) and four-row (W4). Froude number of 0.235 and scopes of three-row (W3) and four-row (W4) reduced fully the scour and the Froude number of 0.25 and scope range of four-row (W4)

controlled 98.55% of the scour. In comparison with the performance of two scopes, the maximum six-based elements namely W3 and W4 were observed in the maximum Froude number that only have 7.47% difference in the reduction rate of the scour and have completely the same performance in the two Froude numbers of 0.18 and 0.208. In conclusion, it can be stated that the use of W3 range is most optimal mode of replacing elements around the abutment, because it has approximate performance to W4, but the cost and time of its construction is low.

Keywords: A- Jacks Six Legged Elements, Palement Area, Bridge abutment, Clear water.

مقدمه

رودخانه ها شریان‌های حیاتی هر کشوری محسوب می‌شوند. تأسیسات زیادی ازجمله پل‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ، جاده‌ها، ساختمان‌های مسکونی و دیگر سازه‌ها در کنار رودخانه ساخته می‌شوند. از طرفی رودخانه‌ها دارای مصالح آبرفتی می‌باشند که در اثر جریان آب ممکن است فرسایش یابند. فرسایش ممکن است در بستر رودخانه اتفاق افتد که باعث تعمیق رودخانه و درنهایت ناپایداری سواحل می‌گردد. فرسایش ممکن است در بدنه رودخانه‌ها باعث ناپایداری سواحل گردد. ذرات بستر ممکن است در اثر شرایط الگوی خاص جریان در یک محل خاصی شروع به حرکت کنند که آبشستگی نامیده می‌شود. تخریب پل به دلیل آبشستگی کلی در پایه و تکیه‌گاه پل ، ضرورت مطالعه در مورد راه‌های محافظت پل در برابر آبشستگی را روشن می‌سازد. در مورد تکیه‌گاه‌ها آمار نشان می‌دهد که از ۳۸۳ پل که در آمریکا تخریب شده‌اند، ۷۲ درصد علل تخریب، مربوط به آبشستگی تکیه‌گاه بوده است. ۷۰ درصد هزینه‌های شکست پل در نیوزیلند ناشی از آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است (رمضانی و همکاران ۱۳۹۳). در داخل کشور هم مطابق گزارش سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای در سال ۱۳۹۱ میزان ۳۶ درصد خرابی پل‌های کشور ناشی از آبشستگی پایه‌های میانی و کناری آن می‌باشد (خادمی و همکاران ،۱۳۸۹). با توجه به اهمیت پل‌ها در زمینه نقل‌وانتقال بار و مسافر، ضروری است تا تمهیداتی به‌منظور کاهش آبشستگی یا تثبیت بستر اطراف تکیه‌گاه و پایه پل‌های موجود به عمل آید. روش‌های زیادی برای کاهش میزان آبشستگی و مهار آن مورداستفاده و بررسی قرارگرفته است .این روش‌ها به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند؛ گروه اول افزایش مقاومت بستر مانند ریختن ریپ رپ ویا استفاده ازآرمورینگ(قطعات پیش‌ساخته بینی)ویا گابیون در اطراف تکیه‌گاه و پایه پل و گروه دوم تغییر الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل با تغییر در هندسه تکیه‌گاه و ایجاد موانع در مسیر جریان. مانند استفاده از آب‌شکن محافظ ،طوقه ،صفحه مستغرق و گروه شمع. (جانسون و همکاران [1]،۲۰۰۱). استفاده از ریپ رپ یکی از متداول‌ترین روش‌ها جهت حفاظت سواحل و بستر رودخانه می‌باشد که در این رابطه می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. منصوری هفشجانی و شفاعی بجستان (۱۳۹۰) به بررسی کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل در قوس رودخانه با استفاده از سنگچین پرداخته‌اند. بر اساس تجزیه‌وتحلیل نتایج به‌دست‌آمده روابط مناسب با درصد خطای ۵/۸ درصد و ضریب همبستگی۰/۹۷ به‌منظور تخمین اندازه‌ی مناسب قطر سنگچین در محل تکیه‌گاه پل واقع در قوس رودخانه استخراج کردند. منصوری هفشجانی و شفاعی بجستان (۱۳۹۲) در مقایسه تأثیر سه رقوم قرارگیری سنگچین بر پایداری آن در محل تکیه‌گاه پل واقع در قوس ۹۰ درجه بر اساس آستانه حرکت ذرات سنگچین دریافتند که سنگچین هم‌تراز با بستر بیشترین میزان پایداری و سنگچین بالاتر از بستر کمترین میزان پایداری را دارند. زراتی و همکاران [2]،۲۰۰۶) درباره‌ی کاهش آبشستگی در محل احداث گروه پایه‌های پل با استفاده از ترکیب سنگچین و طوق، نشان دادند که، استفاده از ترکیب سنگچین و طوق پیوسته باعث کاهش آبشستگی در جلو و پشت پایه‌ها به ترتیب به میزان ۵۰ و ۶۰ درصد شده است. ریچاردسون و دیویس [3] (۱۹۹۵) در بررسی گستره مناسب ریپ رپ حول تکیه‌گاه، مقدار $W=2d$ را بهترین گستره ریپ رپ برای حفاظت تکیه‌گاه و همچنین مقاومت در برابر شکست لبه بیان کرد. ملویل و همکاران [4] (۲۰۰۶) در یک مطالعه آزمایشگاهی به بررسی روش‌های مقابله با آبشستگی تکیه‌گاه پل پرداختند . دو نوع روش مقابله با آبشستگی دماغه یعنی ریپ رپ و بلوک‌های متصل را بررسی کردند. همچنین وسعت کارگزاری کف بند نیز بررسی شد. نتیجه گرفتند که این روش‌ها تأثیر اساسی بر روی کاهش عمق و وسعت حفره آبشستگی ندارند و فقط باعث انحراف حفره آبشستگی از دماغه تکیه‌گاه شده و از این طریق پل را از تخریب نجات می‌دهند. همچنین دریافتند که با افزایش وسعت کف بند چاله آبشستگی مربوط به تکیه‌گاه قرارگرفته در دشت سیلابی از تکیه‌گاه فاصله گرفته و اندازه آن کاهش می‌یابد. نتیجه دیگر اینکه زمانی که از بلوک‌های متصل استفاده می‌شود حفره آبشستگی عمیق‌تر و وسیع‌تر است نسبت به زمانی که از ریپ رپ استفاده شود زیرا در حالت استفاده از ریپ رپ به علت پدیده شکست لبه سنگ‌های ریپ رپ به درون حفره آبشستگی سقوط می‌کنند که این امر باعث کاهش عمق آبشستگی می‌شود. کاردوسو و فائل [5] (۲۰۰۹)

1 - Johnson *et al*.

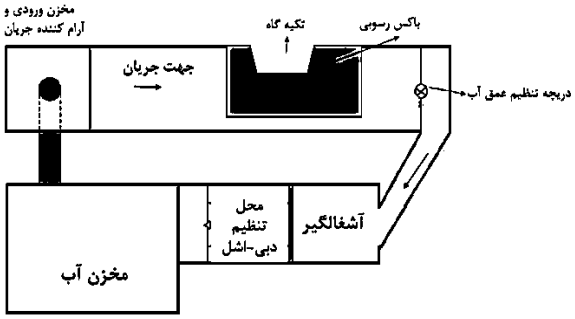
2 - Zarrati *et al*.
3 - Richardson and Davis
4 - Melville *et al*.
5 - Cardoso and Fael

ریپ رپ را به‌عنوان یک محافظ تکیه‌گاه با دیوار عمودی در مقابل آبشستگی موردبررسی قراردادند. ازجمله اهداف آن‌ها تعیین گستره‌ی مناسب بود و دریافتند که پیشنهادات ملویل و همکاران در سال (۲۰۰۶) محافظه‌کارانه بوده و منجر به ایجاد پوششی عریض در اطراف تکیه‌گاه می‌شود. اما این دو مطالعه باهم قابل‌مقایسه نیستند زیرا اولاً شکل تکیه‌گاه متفاوت بوده و ثانیاً کاردوسو آزمایش‌ها خود را با بلوک‌هایی که روی پارچه‌هایی که به‌عنوان فیلتر بودند انجام داده بود. همچنین تاثیر ناشی از مقیاس نادیده گرفته‌شده بود. کاردوسو و همکاران (۲۰۱۰) حفاظت دماغه تکیه‌گاه با دیوارهای عمودی در برابر آبشستگی را بررسی کردند. هدف از این تحقیق طراحی پوشش ریپ رپ به‌منظور حفاظت تکیه‌گاه از آبشستگی در شرایط آب زلال بود. به این منظور به بررسی گستره ریپ رپ و هندسه حفره آبشستگی پرداختند. آن‌ها دریافتند که با افزایش طول تکیه‌گاه فاصله بین نقطه حداکثر آبشستگی و تکیه‌گاه افزایش می‌یابد و نیز زاویه موقعیت عمیق‌ترین نقطه آبشستگی نزدیک ۳۰ درجه بود. شکل تکیه‌گاه و انقباض جریان تأثیری در میزان حداقل پوشش ریپ رپ حول تکیه‌گاه ندارد. همچنین مطالعاتی پیرامون سایر روش‌های کاهش و کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل انجام‌شده است. قمشی و عالم(۱۳۹۰) کاربرد طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه مستطیلی پل در کانال مرکب را بررسی کردند، نتایج نشان داد که طوق آبشستگی را کاهش داده و روی بستر عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد به‌طوری‌که حداکثر درصد کاهش آبشستگی ۹۴ درصد می‌باشد. پیرایش و صانعی (۱۳۹۰) تأثیر فاصله گروه شمع از تکیه‌گاه پل در کاهش آبشستگی موضعی را بررسی کردند.نتایج نشان می‌دهند در فاصله دو برابر طول تکیه‌گاه ، کاهش مؤثری در حداکثر عمق و حجم آبشستگی رخ می‌دهد. علیزاده و همکاران (۱۳۹۱) در مقایسه عملکرد صفحه مدفون در کنترل آبشستگی موضعی تکیه‌گاه پل در شرایط هیدرولیکی مختلف به بررسی تأثیر شرایط هیدرولیکی در عملکرد روش صفحه مدفون در کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل پرداخته‌اند. حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل در حالت شاهد در شرایط آستانه حرکت روی می‌دهد با توجه به نتایج آزمایش‌ها روش صفحه مدفون در شرایط آستانه حرکت $U/Uc = ۰/۹$ (نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی در دشت سیلابی) عملکرد بهتری در کنترل آبشستگی دارد و حدود ۶۰درصد عمق آبشستگی را کاهش می‌دهد ودرحالت $U/Uc = ۰/۷$ عمق آبشستگی حدود ۴۰درصد کاهش می‌یابد بنابراین روش صفحه مدفون در شرایط بحرانی عملکرد بهتری در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل و آب‌شکن‌های قائم دارد. ازآنجاکه تاکنون در مورد سازه موسوم به المان‌های شش‌پایه هیچ‌گونه مطالعاتی صورت نگرفته است در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر المان‌های شش‌پایه بر کنترل عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل پرداخته‌شده است.

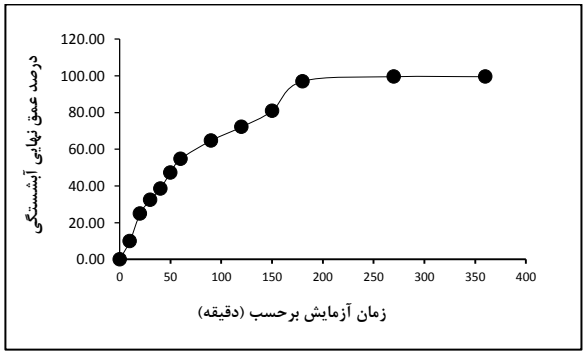
مواد و روش‌ها

در این پژوهش آزمایش‌ها در فلومی به طول ۱۰متر و عرض ۱متر و ارتفاع ۰/۶ متر و شیب ثابت ۰/۰۰۰۳ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت (شکل ۱). تکیه‌گاه از نوع بالی و از جنس ورق فلزی و با طول ۱۴ سانتی‌متر و عرض ۴۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. دبی ورودی با استفاده از شیر ورودی تنظیم‌شده و به‌وسیله یک سرریز V شکل اندازه‌گیری شد. عمق جریان نیز با استفاده از دریچه انتهایی قابل تنظیم بود. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و با استفاده از یک نوع ذره رسوبی یکنواخت که D_{50} (متوسط اندازه رسوب) آن برابر ۰/۶۶ میلی‌متر بود انجام شدند. انتخاب این اندازه به این دلیل بود که سرعت آستانه حرکت رسوبات با کاهش قطر آن‌ها کاهش پیدا می‌کند و نیز کاهش قطر ذرات رسوبی باعث می‌شود که حفره آبشستگی در زمان کمتری به تعادل برسد.

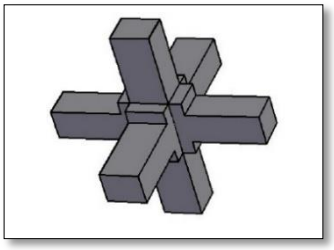
در آزمایش‌های اولیه مدت‌زمان هر آزمایش دوازده ساعت منظور شد و منحنی تغییرات عمق آبشستگی در مقابل زمان ترسیم گردید. (شکل۲) . در آزمایش‌های بعدی زمان آزمایش به مدت پنج ساعت نیز اجرا شد و طبق مشاهدات حداکثر عمق آبشستگی پس از گذشت پنج ساعت تقریباً ۹۵ درصد حداکثر عمق آبشستگی بازمان دوازده ساعت بود. درنتیجه زمان آزمایش‌هایی که برای این تحقیق در نظر گرفته شد، پنج ساعت بود و تمام آزمایش‌ها با این مدت‌زمان اجرا شد. آزمایش‌ها برای چهار عدد فرود ۰/۱۸ ، ۰/۲۰۸ ، ۰/۲۳۵ و ۰/۲۵ که V/Vc (نسبت سرعت متوسط جریان به‌سرعت بحرانی ذرات رسوب) در آن‌ها به ترتیب ۰/۶۵، ۰/۷۵، ۰/۸۵ و ۰/۹ بود، در عمق ثابت ۱۲ سانتی‌متر در دو مرحله انجام شد. آزمایش‌ها مرحله اول بدون حضور المان‌های شش‌پایه یا همان آزمایش‌های شاهد و آزمایش‌های مرحله دوم با حضور المان‌های شش‌پایه و در چهار گستره‌ی کارگزاری با شعاع‌های مشخص‌شده در جدول (۱) انجام شد. المان‌های شش‌پایه که نمای ظاهری آن در شکل (۳) نشان داده‌شده است، برای حفاظت پایه و تکیه‌گاه‌های پل، به‌ویژه در کشور آمریکا مورداستفاده قرار می‌گیرد. المان‌های شش‌پایه از جنس بتن بوده و با مقیاس ۱۲/۱ ساخته شدند. المان‌های شش‌پایه را می‌توان با سه آرایش متفاوت در کنار یکدیگر قرارداد. انواع آرایش المان‌ها عبارتند از: آرایش باز، آرایش نیمه متراکم و آرایش متراکم. در این تحقیق المان‌ها با آرایش متراکم در اطراف تکیه‌گاه قرار گرفتند که نمونه‌ای از آن در شکل (۴) مشاهده می‌شود. مشخصات المان‌های شش‌پایه استفاده‌شده در آزمایش‌ها نیز در جدول (۲) نشان داده‌شده است.



شکل۱- فلوم آزمایش و پلان آن



شکل۲- منحنی زمان تعادل برای عدد فرود ۰/۲۵



شکل۳- نمای ظاهری المان شش‌پایه در حالت منفرد



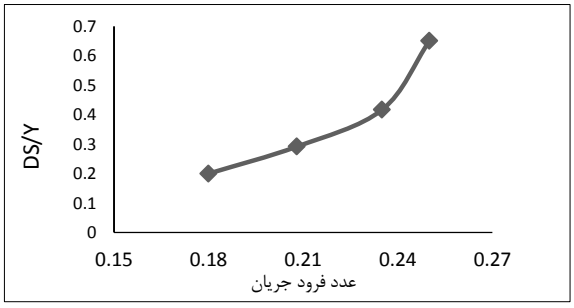
شکل٤- نحوه چیدمان المان‌ها حول تکیه‌گاه

جدول۱- گستره‌های کارگزاری المان‌های شش‌پایه در آزمایش‌ها

W4(چهار ردیف المان‌های شش‌پایه)	W3(سه ردیف المان‌های شش‌پایه)	W2(دو ردیف المان‌های شش‌پایه)	W1 (یک ردیف المان‌های شش‌پایه)
۱۰/۶ سامتی متر	۸/۵ سانتی‌متر	۶/۵ سانتی‌متر	۴ سانتی‌متر

جدول۲- مشخصات المان‌های شش‌پایه

جرم خشک(g)	حجم (cm^3)	جرم مخصوص(g/cm^3)	سطح مقطع هر بازو (mm^2)	طول هر بازو بدون زائده(cm)	طول هر بازو همراه با زائده (cm)	ارتفاع کل وقتی روی یک بازو عمودی قرار بگیرد(cm)
۱۹/۵	۹/۴	۲/۰۷	۵۸/۵۲	۱/۷	۲/۱	۵/۷



شکل۵- حداکثر عمق آبشستگی در آزمایش‌های شاهد

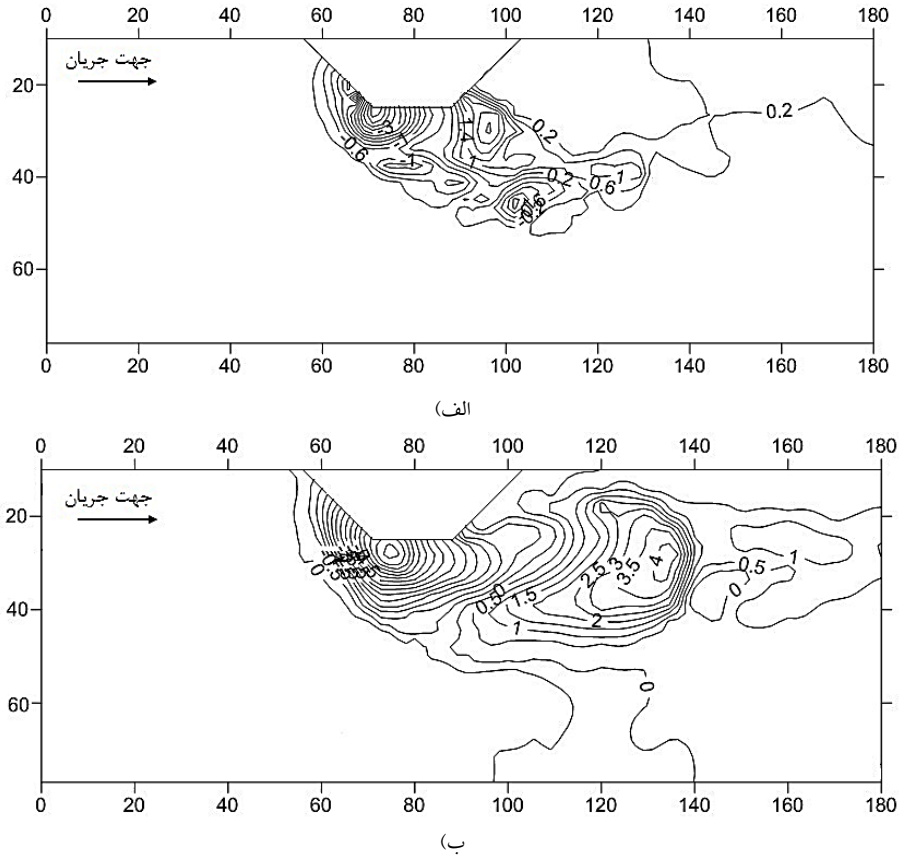
نتایج و بحث

الف) نتایج آزمایش‌های بدون حضور المان‌های شش‌پایه(آزمایش شاهد)

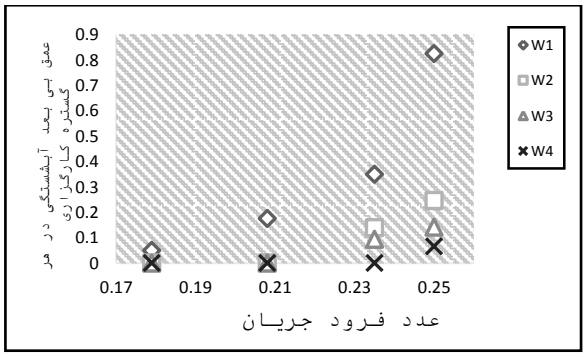
در این مرحله ابتدا چهار آزمایش، با مدت‌زمان پنج ساعت در چهار عدد فرورد ۰/۱۸ ، ۰/۲۰۸ ، ۰/۲۳۵ و ۰/۲۵ انجام شد .در طول مدت آزمایش در زمان‌های مختلف عمق آبشستگی در نقطه‌ی مبنا برداشت گردید. مشاهده شد در آزمایش شاهد، حداکثر عمق آبشستگی در گوشه‌ی بالادست تکیه‌گاه اتفاق افتاد، بنابراین عمق آبشستگی در همین نقطه برای تعیین عملکرد المان‌های شش‌پایه در نظر گرفته شد. حداکثر عمق آبشستگی در نقطه مبنا به‌صورت نسبتی از عمق جریان در مقابل اعداد فرود مختلف در نمودار شکل (۵) نشان داده‌شده است.

به‌منظور درک بهتر نتایج آزمایش‌ها، با استفاده از متر لیزری داده‌های توپوگرافی بستر برداشت گردید و با استفاده از نرم‌افزار سورفر نسخه ۱۲ توپوگرافی بستر رسم شد. در شکل (۶) توپوگرافی بستر در دو عدد فرود ۰/۲۳۵ و ۰/۲۵ نشان داده‌شده است.

در تمامی آزمایش‌ها، فرسایش و رسوب‌گذاری از الگوی خاصی پیروی می‌کرد، به‌نحوی‌که آبشستگی از گوشه‌ی بالادست تکیه‌گاه آغاز و ضمن توسعه حفره آبشستگی، عمق آن نیز افزایش پیدا می‌کرد. در طول آزمایش، رسوبات از دیواره چاله آبشستگی به درون چاله ریزش کرده و پس‌ازانتقال در درون چاله، به پشته رسوب پایین‌دست افزوده می‌شدند. پشته رسوبی به‌تدریج به‌طرف پایین‌دست حرکت کرده و به‌این‌ترتیب توسعه‌ی چاله آبشستگی در طول زمان آزمایش مرتباً ادامه پیدا می‌کرد. همچنین هر چه میزان عدد فرود جریان افزایش پیدا کرد، بر حداکثر عمق و وسعت چاله آبشستگی افزوده شد. برای مثال با افزایش ۲۰/۱۹ درصدی عدد فرود جریان از ۰/۲۰۸ به ۰/۲۵.، عمق آبشستگی به میزان ۹۱/۴۲ درصدی افزایش یافت. با افزایش سرعت نسبی جریان، حفره عمیق‌تر و وسیع‌تری ناشی از فعالیت‌های جریان‌های گردابی در دماغه تکیه‌گاه تشکیل شد. به‌طورکلی با افزایش عدد فرود جریان و درنتیجه افزایش قدرت جریان‌های گردابه نعل اسبی عمق حفره آبشستگی و همچنین توسعه طولی و عرضی حفره افزایش پیدا کرد. در طی آزمایش‌ها مشاهده شد که سرعت آبشستگی در لحظات اولیه زیاد بود و با توسعه حفره آبشستگی شدت آن کاهش یافت. کاهش شدت آبشستگی به‌این‌علت بود که با توسعه حفره آبشستگی، گرداب نعل اسبی درون حفره مستهلک‌شده و رسوبات تنها درون حفره آبشستگی حرکت کردند و به پایین‌دست منتقل نمی‌شدند. درنتیجه باگذشت زمان در هر آزمایش نرخ آبشستگی پس از رسیدن به یک مقدار حداکثر به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافت و تغییرات عمق آبشستگی ناچیز شد.



شکل٦- توپوگرافی بستر در آزمایش شاهد، الف)عدد فرود ۰/۲۳۵ ، ب) عدد فرود ۰/۲۵



شکل۷- عمق بی‌بعد آبشستگی برای گستره‌های مختلف کارگزاری المان‌های شش‌پایه در عددهای فرود مختلف جریان

ب) نتایج آزمایش‌ها با حضور المان‌های شش‌پایه

در این مرحله شانزده آزمایش با چهار عدد فرود مختلف و در چهار گستره‌ی متفاوت کارگزاری المان‌های شش‌پایه در اطراف تکیه‌گاه انجام گرفت. حداکثر عمق آبشستگی نسبت به آزمایش‌های شاهد به‌طور چشم‌گیری کاهش یافت. نتایج این بخش از آزمایش‌ها در شکل (۷) مشاهده می‌شود که عمق حداکثر آبشستگی در هر گستره به نسبت عرض گستره موردنظر، در هر عدد فرود را نشان می‌دهد.

به‌منظور مقایسه نتایج با استفاده از رابطه (۱) درصد کاهش آبشستگی نسبت به حالت شاهد محاسبه شد که حاصل آن در نمودار شکل (۸) قابل‌مشاهده است؛

$$\%R = \frac{d_{s1}-d_{s2}}{d_{s1}} \times 100 \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، R : درصد کاهش حداکثر عمق آبشستگی، d_{s1}: حداکثر عمق آبشستگی در آزمایش‌ها شاهد و d_{s2}: حداکثر عمق آبشستگی در آزمایش‌ها با حضور المان‌های شش‌پایه می‌باشد.

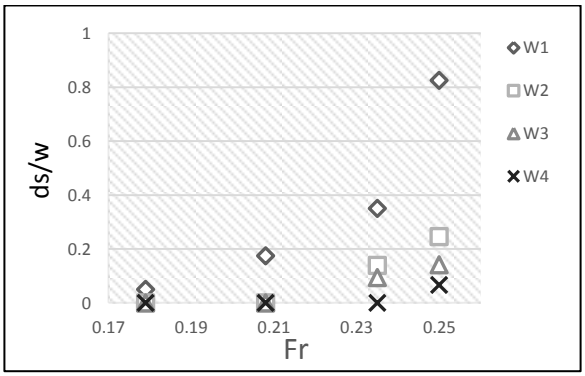
در حضور المان‌ها، در عددهای فرود کم، حفره آبشستگی در دماغه تکیه‌گاه تشکیل نشد و در عددهای فرود بالا، نسبت به حالت آزمایش‌های شاهد دارای عمق بسیار کمی بود. درنتیجه می‌توان گفت المان‌های شش‌پایه از دسته سازه‌هایی است که با مقاوم‌سازی بستر مانع از آبشستگی فونداسیون پل می‌شود.

در عددهای فرود کم یعنی ۰/۱۸ و ۰/۲۰۸ تنها در گستره‌ی W_1 آبشستگی رخ داد. اما این مقدار آبشستگی در مقایسه با آزمایش‌های شاهد به ترتیب ۸۸/۸۸ و ۷۳/۷۶ درصد کاهش یافت، که نشان‌دهنده این است المان‌ها در کمترین گستره‌ی خود نیز قادر به کاهش آبشستگی در دماغه تکیه‌گاه هستند. با توجه به ساز و کار آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه می‌توان علت کاهش آبشستگی در حضور المان‌ها را دریافت. هنگام برخورد جریان آب به دماغه تکیه‌گاه پل، سرعت جریان پس از برخورد به دماغه تبدیل به فشاری روی تکیه‌گاه می‌گردد. ازآنجاکه سرعت از سطح به‌طرف کف کم می‌گردد، فشار دینامیکی روی دماغه تکیه‌گاه از بالا به پائین نیز کم می‌شود و گرادیان فشار ایجادشده باعث ایجاد جریانی به‌طرف کف می‌شود. این جریان روبه پائین پس از برخورد با بستر، ذرات آن را کنده و به جهات مختلف پراکنده می‌کند (زراتی و همکاران، ۲۰۰۶). المان‌های شش‌پایه در حول تکیه‌گاه، مانع از برخورد جریان رو به پایین به رسوبات بستر شدند و این عمل باعث شد که جریان گردابه ای که عامل اصلی آبشستگی در دماغه تکیه‌گاه است، روی المان‌های شش‌پایه ایجاد شود و کمتر به بستر برسد. همچنین وجود این المان‌ها باعث شد زبری افزایش یابد و از قدرت گردابه ها کاسته شود. کاهش قدرت برای عدد فرودهای کم که خود قدرت کمی دارند باعث شد که آبشستگی به صفر برسد. ولی در عدد فرودهای بیشتر شدت‌جریان بیشتر بود و گردابه های قوی‌تری تشکیل شد درنتیجه با حضور المان‌ها بازهم آبشستگی اتفاق افتاد. علاوه بر دلایل فوق ذکر می‌توان گفت که، در گستره‌ی W_1 و تا حدودی W_2 به دلیل کم بودن عرض پوشش، المان‌ها تمام محدوده اثر گردابه را پوشش ندادند و درنتیجه مقداری آبشستگی رخ داد. در شرایطی هم که گردابه ها به بستر رسیدند نیز المان‌ها با وزن خود مانع از کنده شدن و حرکت رسوبات موجود در زیر پایه‌های خود شدند و تا حدودی به این طریق هم باعث کاهش آبشستگی شدند. با افزایش گستره‌ی المان‌ها حول تکیه‌گاه لایه محافظ بستر افزایش یافت و کل منطقه اثر گردابه های نعل اسبی پوشش داده شد. درنتیجه با افزایش گستره المان، آبشستگی کاهش یافت.

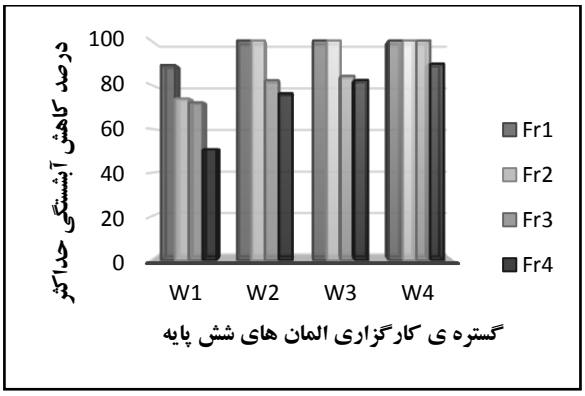
تغییر زبری در بستر کانال عاملی برای ایجاد آبشستگی موضعی در بستر کانال است. در حدفاصل بین زبری بزرگ‌تر به زبری کوچک‌تر گردابه‌هایی شکل می‌گیرند که آبشستگی بستر را به همراه خواهند داشت (کوچک و شفاعی بجستان، ۱۳۹۱). با قراردادن المان‌های شش‌پایه حول تکیه‌گاه در بستر کانال یک تغییر ناگهانی زبری به وجود آمد که در حدفاصل بین زبری بزرگ‌تر (المان‌های شش‌پایه) به زبری کوچک‌تر(رسوبات بستر کانال) گردابه‌هایی شکل گرفت که منجر به آبشستگی بستر شد. با افزایش عدد فرود به علت افزایش سرعت و درنتیجه افزایش قدرت گردابه نعل اسبی میزان این آبشستگی افزایش پیدا کرد. در شکل (۹) توپوگرافی بستر در دو عدد فرود ۰/۲۵ در حضور گستره‌های مختلف المان‌ها نشان داده‌شده است.

طبق مشاهدات گسترش آبشستگی در حدفاصل بین دو زبری متفاوت (لبه المان) باعث شد رسوبات ریزدانه بستر در معرض الگوهای جریان قرار گیرند که منجر به آبشستگی بستر نزدیک به تکیه‌گاه گشت و باعث شد المان‌های واقع در کناره‌ها جابجا شوند. در عددهای فرود بالا یعنی ۰/۲۳۵ و ۰/۲۵ ناپایداری و شکست در لبه المان‌های شش‌پایه اتفاق افتاد. شکست لبه لایه المان زمانی رخ می‌دهد که المان‌های موجود در حاشیه کف‌پوش به علت آبشستگی لبه (آبشستگی ناشی از تغییر زبری)، مقاومت خود را در برابر نیروهای هیدرودینامیکی جریان از دست بدهد و المان‌ها به درون حفره آبشستگی سقوط کنند. شکست لبه المان‌ها از خارجی‌ترین لایه المان و دقیقاً از المانی که در راستای دماغه تکیه‌گاه و مقابل جریان وجود داشت آغاز شد. مشاهده شد که در ابتدا ذرات رسوبی موجود در پیرامون این المان فرسایش یافت و به‌تدریج با تشکیل حفره آبشستگی در اطراف المان مذکور، المان به داخل حفره آبشستگی سقوط کرد و از سایر المان‌ها فاصله گرفت. بعد از حرکت این تک المان، میزان آبشستگی در این محدوده افزایش پیدا کرد و منجر به حرکت سایر المان‌هایی که در گستره خارجی و مقابل تکیه‌گاه بودند شد. یعنی با سقوط هر المان، شرایطی که ذکر شد برای المان بعدی که در مسیر جریان و در لایه خارجی وجود داشت برقرار شد و به ترتیب المان‌های موجود در لایه خارجی یکی پس از دیگری تخریب و به درون حفره آبشستگی حرکت کردند. البته شایان‌ذکر است که به‌جز آبشستگی موضعی ناشی از المان‌ها، نوع چیدمان المان‌ها که متراکم بود و باعث قفل شدن المان‌ها در هم بود، نیز باعث شد که تعداد بیشتری از المان‌ها تخریب شوند. با این تفاسیر می‌توان گفت زمانی که المان‌های شش‌پایه در اطراف تکیه‌گاه قرار می‌گیرند در جای خود ثابت و بدون حرکت می‌مانند و هیچ‌گونه حرکتی به پایین‌دست ندارند و المان‌ها تنها زمانی جابجا می‌شوند که پدیده شکست لبه در عددهای فرود زیاد اتفاق افتد. پدیده شکست لبه در لایه ریپ رپ نیز مشاهده‌شده است. سلیمانی نیا و شفاعی بجستان (۱۳۹۲) به بررسی آزمایشگاهی شکست لبه ریپ رپ پرداختند و مکانیزم شکست لبه ریپ رپ را با استفاده از شکل (۱۰) شرح دادند. طبق مشاهدات آن‌ها در پایین‌دست لبه، دانه‌های ریپ رپ در ابتدا در سطح یک بودند. بعد از مدتی به دلیل اینکه جدایی جریان ناشی از اختلاف زبری، گرادیان مثبت فشار را به وجود آورد، جریان‌های ثانویه درست پایین‌دست لبه شکل گرفت که درنتیجه مؤلفه‌های سرعت، آبشستگی در رسوبات بستر ایجاد شد و سطح رسوبات به سطح دو تنزیل یافت. زمانی ذرات ریپ رپ به سطح دو رسیدند، مؤلفه‌های گردابه نه‌تنها باعث ناپایداری

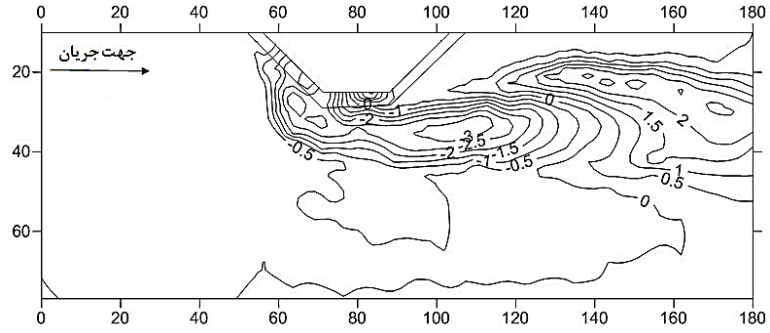
ریپ رپ‌های لبه نشدند، بلکه نیرویی به‌اندازه $\rho cv^2A/2$ که در سرعت در خلاف جهت جریان است ایجاد کردند که درنتیجه آن به پایداری ریپ رپ کمک شد. در مرحله سه، ذره درنتیجه شیب به وجود آمده، در اثر وزن خود و همچنین مؤلفه رو به بالا گردابه ها (نیروی بالابری)، به سمت پایین شیب سر خوردند. تا زمان رسیدن سطح رسوبات به سطح دو، مؤلفه‌های سرعت عامل پایداری ریپ رپ بودند ولی پس‌ازآن به دلیلی که ذکر شد عامل ناپایداری محسوب شدند. ذرات ریپ رپ بسته به وزنشان و اینکه سطح رسوبات ریزدانه در چه موقعیتی بود دو نوع حرکت نشان دادند. در نوع اول ریپ رپ قبل از رسیدن به سطح دو، حرکتی در لبه نداشت، اما ذرات بالادست حرکت کرده بودند اگر سنگین بودند به دلیل برد کوتاه پرش‌هایشان، درگیر ناحیه گردابه ای که چند سانتی‌متر پایین‌تر لبه بود می‌شدند و همان‌جا می‌ماندند تا آبشستگی رسوبات بستر سطح را به سه برساند و بعدازآن سر می‌خوردند و اگر سبک بودند برد پرتابشان بلند بود و چرخش خود را تا انتها فلوم ادامه می‌دادند. در نوع دوم حرکت، وقتی سطح دو به سطح سه کاهش می‌یافت تمامی ذراتی که به این منطقه می‌رسیدند به حرکت خود ادامه می‌دادند. بنابراین گردابه ها به دلیل جریان‌های ثانویه باعث آبشستگی در پایین‌دست ریپ رپ شده و باگذشت زمان آبشستگی پیش روی می‌کند و تراز سطح مصالح ریزدانه از حالت یک به حالت دو تقلیل می‌یابد. تصویر دوم از شکل (۱۰) وضعیت گردابه را هنگام تقلیل سطح بستر از یک به دو نشان می‌دهد.



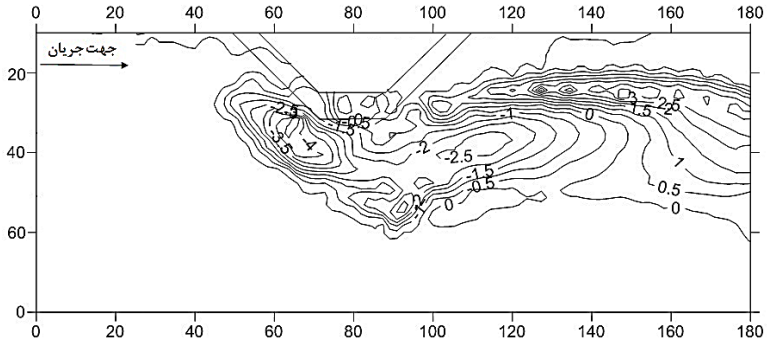
شکل۷- عمق بی‌بعد آبشستگی برای گستره‌های مختلف کارگزاری المان‌های شش‌پایه در عددهای فرود مختلف جریان



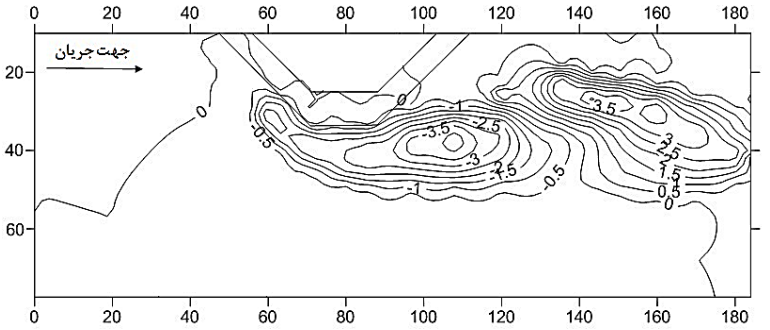
شکل۸- نمودار درصد کاهش حداکثر عمق آبشستگی در عددهای فرود مختلف جریان و گستره‌های مختلف کارگزاری المان‌های شش‌پایه



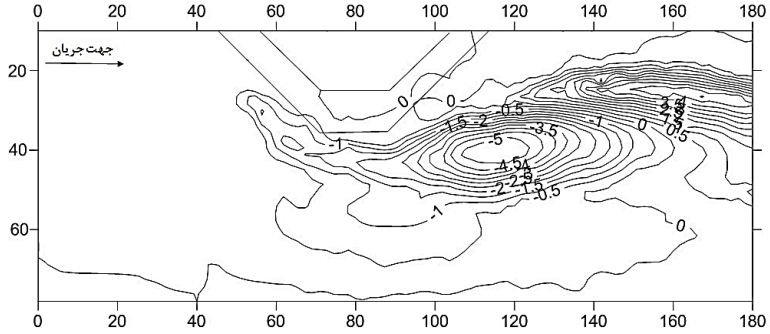
الف)



ب)

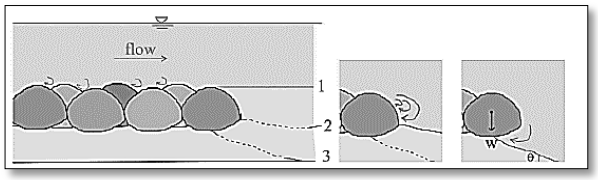


ج)



د)

شکل۹- توپوگرافی بستر در عدد فرود ۰/۲۵ در گستره‌های کارگزاری المان‌های شش‌پایه. الف) W_1، ب) W_2، ج) W_3، د) W_4



شکل ۱۰- سازوکار حرکت ذرات ریپ رپ به‌صورت شما تیک (سلیمانی نیا و شفاعی بجستان، (۱۳۹۲))

مشاهده می‌شود که سازوکار شکست لبه در المان‌های شش‌پایه و سازوکار شکست لبه در ریپ رپ تقریباً مشابه یکدیگر است. با مقایسه نتایج مشاهده می‌شود حرکت نوع اولی که برای ریپ رپ تعریف‌شده در المان‌های شش‌پایه وجود ندارد و حرکت در المان‌های شش‌پایه تنها زمانی رخ می‌دهد که در عدد فرودهای بالا آبشستگی به میزان زیادی در لبه المان رخ دهد و المان به علت شسته شدن رسوب و پایین رفتن تراز بستر جابجا شده و به درون حفره آبشستگی می‌غلتد. این در حالی است که برخی از دانه‌های ریپ رپ حتی قبل از آبشستگی لبه، به سمت پایین‌دست حرکت کرده‌اند. این امر نشان‌دهنده این است که المان‌های شش‌پایه نسبت به ریپ رپ از پایداری بیشتری برخوردارند و استفاده از آن‌ها دارای ضریب اطمینان بیشتری است.

ناگفته نماند که المان‌های شش‌پایه حتی در حالتی که دچار شکست لبه شدند نیز همچنان نسبت به حالت شاهد مقدار آبشستگی را کاهش دادند. به‌گونه‌ای که در بحرانی‌ترین حالت خود یعنی عدد فرود ۰/۲۵ و گستره‌ی W_1 نیز کاهش ۵۰ درصدی آبشستگی دماغه تکیه‌گاه نسبت به حالت شاهد مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی گستره‌ی کارگزاری المان‌های شش‌پایه به‌منظور حفاظت تکیه‌گاه پل در مقابل آبشستگی برای تکیه‌گاه بالی شکل بود. بدین منظور برای ارزیابی تأثیر المان‌های شش‌پایه و بررسی تأثیر گستره‌ی آن در کاهش میزان آبشستگی، بیست آزمایش در چهار عدد فرود مختلف و در عمق ثابت جریان انجام گرفت. در انتها نتیجه گرفته شد که سازه المان شش‌پایه روش مناسبی برای کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه می‌باشد به‌طوری‌که در ۷۵ درصد از موارد بررسی‌شده، سازه المان شش‌پایه بیشتر از ۸۰ درصد آبشستگی را کاهش داد. نتیجه گرفته شد استفاده از گستره‌ی W_3 بهینه‌ترین حالت کارگزاری المان‌ها حول تکیه‌گاه است زیرا عملکردی نزدیک به W_4 دارد ولی هزینه و زمان ساخت و کارگزاری آن کمتر است. ازجمله مشکلاتی که زمان استفاده از این سازه با آن روبه‌رو هستیم پدیده شکست لبه است که یکی از راهکارهای عملی برای جلوگیری از تخریب لایه المان، مهار کردن المان‌ها به همدیگر می‌باشد.

منابع

۱- خادمی، خ، خزیمه نژاد، ح و شفاعی بجستان. م ۱۳۸۹. برداشت بی‌رویه‌ی مصالح رودخانه‌های در استان خوزستان یکی از عوامل اصلی آبشستگی پای پل‌های بزرگ. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشکده مهندسی علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- کوچک، پ و شفاعی بجستان. م ۱۳۹۱. اثر اختلاف زبری کف بند افقی و مصالح رسوبی بر آبشستگی پایین‌دست آن‌ها. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۶ (۱۸): ۳۰-۲۴.

۳- سلیمانی نیا، س و شفاعی بجستان. م ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی شکست لبه ریپ رپ. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان.

۴- پیرایش، ع و صانعی. م ۱۳۹۰. تأثیر فاصله گروه شمع از تکیه‌گاه پل در کاهش آبشستگی موضعی. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، رشت.

۵- رمضانی، ی. قمشی، م و موسوی جهرمی. س. ح ۱۳۹۳. پیش‌بینی عمق آب شستگی تکیه‌گاه پل در کانال‌ها با مقطع مرکب. مجله پژوهش آب ایران، ۸ (۱۴): ۱۱۷-۱۰۹.

۶- علیزاده وحید، ن. صانعی، م و اژدری مقدم. م ۱۳۹۱. مقایسه عملکرد صفحه مدفون در کنترل آبشستگی موضعی تکیه‌گاه پل در شرایط هیدرولیکی مختلف. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز.

۷- قمشی، م و عالم. ز ۱۳۹۰. کاربرد طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه مستطیلی پل در کانال مرکب. همایش ملی سازه، راه، معماری، چالوس.

۸- منصوری هفشجانی، م و شفاعی بجستان. م ۱۳۹۰. کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل در قوس رودخانه با استفاده از سنگچین. مجله پژوهش آب ایران، ۵ (۹): ۸۲-۷۳.

۹- منصوری هفشجانی، م و شفاعی بجستان. م ۱۳۹۲. مقایسه تأثیر سه رقوم قرارگیری سنگچین بر پایداری آن در محل تکیه‌گاه پل واقع در قوس ۹۰درجه بر اساس آستانه حرکت ذرات سنگچین. نشریه دانش آب‌وخاک، ۲۳ (۲): ۲۰۴-۱۹۵.

10- Cardoso, A.H. and C.M.S. Fael. 2009. Protecting vertical-wall abutments with riprap-mattresses. Journal of Hydraulic Engineering. 135(6): 457–465.

11- Cardoso, A.H. Simarro, G. Fael, C.J. 2010. Toe protection for spill-through and vertical-wall abutments. Journal of Hydraulic Research. 48(4): 491-498.

12- Johnson, P. A., Hey, R.D., Tessier, M., and Rosgen, D.L. (2001) 'Use of Vanes for Control of Scour at Vertical Wall abutment' Journal of Hydraulic Engineering, 127(9): 772-778.

13- Melville, B. Ballegooy, S. Coleman, S. and B. Barkdoll. 2006. Scour countermeasures for wing-wall abutments. Journal of Hydraulic Engineering, 133(11):1265–1269.

14- Richardson, E. Davis, V. 1995. Evaluating scour at bridges, hydraulic engineering circular 18 (HEC-18). Report FHWA-IP-90-017: 204. Federal Highway Administration, Washington, DC.

15- Zarrati, A.R. Nazariha, M. and M. Badali Mashahir. 2006. Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. Journal of Hydraulic Engineering, 132(2):154-162.